دراسة التصميم الترموهيدروليكي للمفاعل المرجعي (MTR-10 MW) باستخدام البرنامج (MTRTHA)

م. حسان الصالح*

الملخص

أجريت في هذا البحث الحسابات لجميع البارمترات الترموهيدروليكية من (كثافة طاقية إلى متوسط التدفق الحراري إلى السرعة والسرعة الحرجة للمبرد إلى هبوط الضغط عبر قلب المفاعل إلى توزع درجات الحرارة للمبرد والغلاف والوقود على طول قناة التبريد ...إلخ) لمفاعل البحث المرجعي (IAEA MTR 10 MW) باستخدام الكود (MTRTHA). بهدف التحقق من موثوقية البرنامج في إجراء الحسابات الترموهيدروليكية لمفاعلات البحث من النوع (MTR).

أظهرت النتائج تقاربًا جيدًا مع تلك المنشورة عالميًا، حيث بلغ متوسط التدفق الحراري القيمة W/cm^2 (21.36) وبفرق نسبي لا يتجاوز القيمة (0.83%)، في حين بلغت سرعة المبرد عبر قلب المفاعل القيمة m/s (8.3) والسرعة الحرجة القيمة m/s (10.938) وبفرق نسبي لا يتجاوز القيمة (0.01%). بلغت ذروة درجة الحرارة للوقود والغلاف والمبرد القيمة (93^oC) و(80^oC) و(50^oC) على الترتيب في حين بلغ هبوط ضغط المبرد عبر قلب المفاعل القيمة bar (0.194) وبفرق نسبي لا يتجاوز القيمة (2.5%).

الكلمات المفتاحية: المفاعل MTR-10MW، البرنامج MTRMC، البرنامج MTRTHA، توزع الاستطاعة، حسابات ترموهيدروليكية.

* طالب دكتوراه.

A thermal hydraulic design of the MTR-10 MW using the MTRTHA program

H.AL-Saleh*

Abstract

In this research work, The MTRTHA code has been used to calculate all Thermal Hydraulic parameters (power density, Average heat flux, coolant velocity, Critical velocity, Pressure drop across channel, fuel, clad and coolant temperature distribution, …. .etc) for the IAEA MTR 10 MW research reactor، For the purpose of verifying the reliability of the software in the calculation of the MTR-type reactor.

The results of this work show a good agreement with International published results, as average heat flux calculated value was (21.36) W/cm^2 with relative difference smaller than (0.83%), while the coolant velocity value was (8.3) m/s and Critical velocity value was (10.938) m/s with relative difference smaller than (0.01%).The peak temperature for fuel, clad surface and coolant was 93^{o}C, 80^{o}C and 50^{o}C, respectively, while the pressure drop of the coolant through the reactor core was (0.194) bar with relative difference less than (2.5%).

KEY WORDS: MTR-10MW nuclear reactor, MTRMC program, MTRTHA program, power distribution, Thermal Hydraulic calculation.

* PhD Student.

المقدمة:

إن المفاعلات البحثية (Research reactors) هي مفاعلات صغيرة الحجم مقارنة بمفاعلات إنتاج الطاقة الكهربائية، تستخدم المفاعلات البحثية لإجراء الدراسات على مواد مفاعلات الطاقة وذلك لمعرفة خصائصها التشعيعية والنووية تحسبًا لمعرفة عمرها الزمني في تلك المفاعلات ومعرفة إمكانية إخفافها بوصفها مركبة في مفاعلات الطاقة قبل حصول ذلك الفشل في أثناء التشغيل وتجنب التكلفة المادية الكبيرة التي قد يؤدي إليها ذلك الإخفاق. هناك أنواع كثيرة ومختلفة الاستطاعة من مفاعلات البحث تتراوح استطاعتها بين العشرات إلى المئات من الميغاواطات تبعًا لمستوى التدفقات المطلوبة، والغاية من المفاعل البحثي **[1]**؛ فهناك المفاعل الصغير الذي تكون تدفقاته النيترونية في مواقع التشعيع من مرتبة1.E+11، وهناك المفاعلات التي تكون تدفقاتها من مراتب 1.0E+15.

تشكل الحسابات الترموهيدروليكية لقلب أي مفاعل يحتاج إلى التبريد أحد أهم المراحل الضرورية للتحقق من عمل المفاعل بشكل صحيح، وهذه المرحلة ضرورية جدًا للمفاعل لأنها تحدّد خصائص عمله الديناميكية (عمر الجيل النتروني ومعاملات التفاعليّة الحراريّة للوقود والمبرد) ومن ثمّ تؤثّر في سرعة توليد الطاقة الحرارية من جهة، كما تلعب دورًا هامًا في تحديد المواد الملائمة لغرض تصريف الحرارة المتولدة في المفاعل.

طُوِّر البرنامج **(MTRTHA)** بوصفه "كودًا" محليًا قادرًا على معالجة المسائل الترموهيدروليكية للمفاعلات من النوع (MTR) التي تتضمن نمذجة الوضع الترموهيدروليكي والنتروني الديناميكي، وبرمجة المعادلات اللازمة لتقدير درجات الحرارة وخصائص النقل الحراري في القنوات المختلفة وتقدير معاملات الاستطاعة الطولية والعرضية في المفاعل (Axial and Radial Peaking Factors).

استُخدم في هذه الورقة العلمية البرنامج **(MTRTHA)** في نمذجة الوضع الترموهيدروليكي لمفاعل البحث المرجعي (MTR-10 MW) ومقارنة النتائج التي تم

الحصول عليها مع المنشورات العالمية بهدف التحقق من موثوقية البرنامج في أداء المهام التي صُمِّم لأجلها واستخدامه مستقبلًا في إنجاز الدراسات الترموهيدروليكية لتصاميم مختلفة باستطاعات مختلفة لمفاعلات بحث من النوع (MTR).

1- مواد البحث وطرائقه

تعتمد منهجية البحث على أساس استخدام نظام حاسوبي يقوم بتشغيل البرامج و"الكودات" المطلوبة لإجراء الحسابات عن طريق واجهات مستخدم، وفيما يلي لمحة موجزة عن كل منها:

2-1- البرنامج MTRTHA [2].

البرنامج (MTRTHA) هو نظام حاسوبيّ طُوِّر محليًا باستخدام لغة Visual Basic-2012 (انظر الشكل(1)) يستخدم في إجراء الحسابات الترموهيدروليكية لمفاعلات بحث من النوع (MTR).

يتضمن البرنامج "MTRTHA" البرنامج (MTRMC) الذي يتيح بمرونة عالية اختيار شكل قلب المفاعل وتصميمه، والعمل على أمثلة هذا التصميم نترونيًا باستخدام "كودات" التصميم النتروني المعتمدة عالميًا في محاكاة المفاعلات وتوصيفها مثل: MCNP.

يعتمد البرنامج "MTRTHA" في عمله على البدء وفقًا للمعاملات التي يتم الحصول عليها من البرنامج (MTRMC)، ومن ثم العمل على أمثلة هذه المعاملات بتنفيذ الحسابات الترموهيدروليكية كلّها، للتأكد من الوصول إلى هوامش أمان عالية تضمن التشغيل الطبيعي والمستقر للمفاعل. تشمل الحسابات الترموهيدروليكية التي يقوم البرنامج بإنجازها:

- كثافة إطلاق الطاقة في القناة (i) بواحدة ($watts/cm^3$) وتعطى بالعلاقة:

$$q^{"}(i,z)=q_c^{"}(i)*\cos\frac{\pi z}{H_e}$$

*حيث $q_c^{'''}(i)$ الكثافة الطاقية العظمى في القناة (i) وتعطى بالعلاقة:

$$q_c^{"}(i) = F(i) * q_a^{"}$$

*حيث F(i) معامل ذروة الاستطاعة ويساوي إلى:

- In average channel: F(i)=FA
- in hot channel: F(i)=FA*FR

*حيث FA ,FR معاملا ذروة الاستطاعة القطري والمحوري على الترتيب.

- التدفق الحراريّ على طول القناة:

$$q^{"}(i,z) = q^{"}(i,z) / SVR$$

*حيث SVR نسبة مساحة صفيحة الوقود إلى حجمها.

- توزع درجة حرارة المبرد على طول القناة (i) ويعطى بالعلاقة:

$$T_f(i,z) = T_{f1} + 0.001 * \frac{q_c^{'''}(i) * A_m * H_e}{\pi * C_p * m_{ch}} \left[\pm \sin\left(\frac{\pi z}{H_e}\right) + \sin\left(\frac{\pi H}{2H_e}\right) \right]$$

*حيث T_{f1}: درجة حرارة دخول المبرد إلى قلب المفاعل.

C_p: السعة الحرارية للمبرد بواحدة (kJ/kg ^oC).

A_m: مساحة صفيحة الوقود (cm^2).

H: ارتفاع صفيحة الوقود (cm).

m_{ch}: معدل التدفق الكتلي (kg/s) ويحسب كما يلي.

$$m_{ch} = \frac{F_D * WF_T * \rho}{3600 * FPTN}$$

*حيث WF_T : معدل التدفق الكلي في قلب المفاعل.

FPTN: العدد الكلي لصفائح الوقود.

- تحسب سرعة المبرد في القناة من العلاقة:

$$V_{ch} = 10^4 \times \frac{\dot{m}_{ch}}{\rho \times A_{ch}}$$

*حيث A_{ch}: مساحة المقطع العرضيّ لقناة التبريد.

- توزع درجة حرارة الغلاف على طول القناة (i) ويعطى بالعلاقة:

$$T_c(i,z) = T_f(i,z) + \frac{q_c''(i) t_m}{2h(i)} \cos\left(\frac{\pi z}{H_e}\right)$$

*حيث h: معامل انتقال الحرارة ($W/cm^2\,^oC$) ويحسب من العلاقة.

$$h := \frac{Nu \cdot k}{[D_h]}$$

*حيث *Nu*: رقم نوسلت ويعطى بالعلاقة:

$$Nu = 0.023\,Re^{0.8}\,Pr^{0.4}$$

*حيث Pr و Re رقما برانتدل و رينولدز على الترتيب ويحسبان من العلاقتين.

$$Re = \frac{G_{ch} D_h}{100\mu} \qquad \& \qquad Pr = 10^3 \times \frac{\mu C_p}{k}$$

*حيث k: موصلية الحرارية للماء ($W/cm^2\,^oC$).

μ: موصلية الحرارية للماء ($N.\,S/m^2$).

G_{ch}: موصلية الحرارية للماء ($kg/m^2\,s$).

- توزع درجة حرارة الوقود على طول القناة (i) ويعطى بالعلاقة:

$$T_m(i,z) = T_c(i,z) + 100.0 \times q_c''(i) \cos\left(\frac{\pi z}{H_e}\right)\left[\frac{t_m^2}{8k_m} + \frac{t_m t_c}{2k_c}\right]$$

*حيث k_m: موصليّة الحراريّة للوقود ($W/cm^2\,^oC$).

k_c: موصليّة الحراريّة للغلاف ($W/cm^2\,^oC$).

t_c: سماكة الغلاف (cm).

- هبوط الضغط عبر قلب المفاعل ويعطى بالعلاقة:

$$\Delta P_{cor} = \Delta P_{ch} + \Delta P_{noz} \pm \Delta P_{st}$$

* ΔPch : هبوط الضغط عبر القناة ويحسب من العلاقة:

$$\Delta P_{ch} = \Delta P_{en} + \Delta P_{f} + \Delta P_{ex}$$

*حيث إن:

- ΔPen: entrance losses

$$\Delta P_{en} = 10^{-5} \times K\left(\frac{\rho V_{ch}^2}{2}\right)$$

- ΔPf: friction losses

$$\Delta P_{f} = 10^{-5} \times \frac{4fL_p}{D_y}\left(\frac{\rho V_{ch}^2}{2}\right)$$

- ΔPex: exit losses

$$\Delta P_{ex} = 10^{-5} \times \left(1 - \frac{V_o}{V_{ch}}\right)^2 \left(\frac{\rho V_{ch}^2}{2}\right)$$

* ΔPst : هبوط الضغط الستاتيكي:

$$\Delta P_{st} = 10^{-7} \times \gamma (L_p + L_{noz})$$

Where γ is the water specific weight in N/m^3.

*$\Delta Pnoz$: هبوط الضغط ما بعد القناة ويعطى بالعلاقة:

$$\Delta P_{noz} = \Delta P_{en} + \Delta P_{f}$$

*حيث إن:

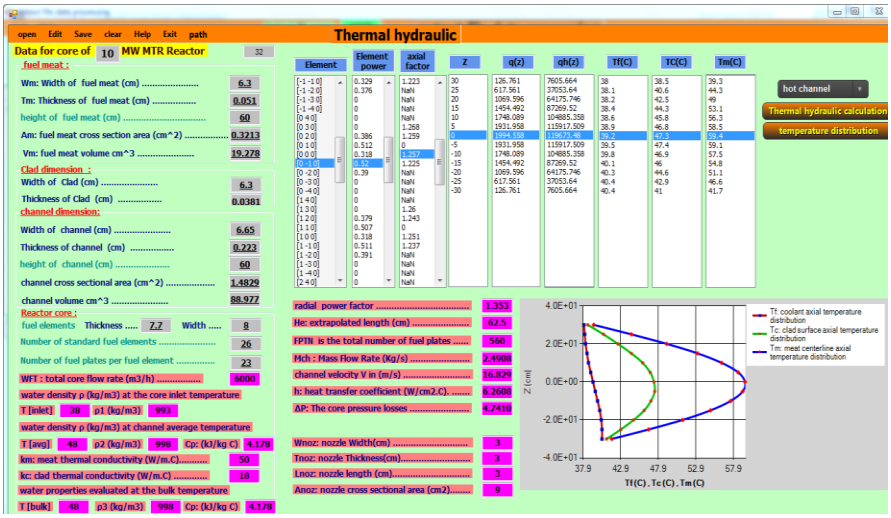
- ΔPf: friction losses

$$\Delta P_{f} = 10^{-5} \times \frac{4fL_{noz}}{D_y}\left(\frac{\rho V_{noz}^2}{2}\right)$$

&

- ΔPen: entrance losses

$$\Delta P_{en} = 10^{-5} \times K\left(\frac{\rho V_{noz}^2}{2}\right)$$

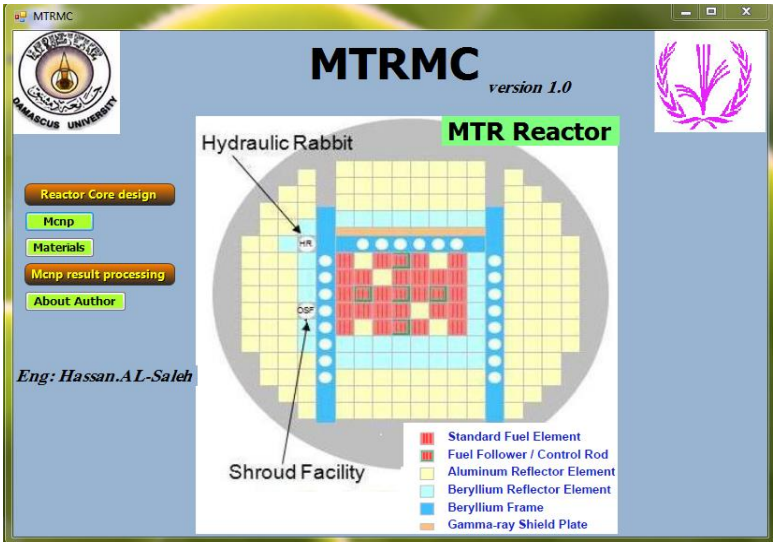


الشكل (1): الواجهة الرئيسية للبرنامج MTRTHA

2-2- البرنامج MTRMC [3].

البرنامج (MTRMC) هو نظام حاسوبي طور محليًا باستخدام لغة Visual Basic-2012 (انظر الشكل(2)) يستخدم في إجراء الحسابات النترونية لمفاعلات بحث من النوع (MTR) **[4-5]**. ويقوم البرنامج (MTRMC) بتشغيل "الكود" (MCNP) بالإضافة إلى عرض واجهات مستخدم توفر إمكانية نمذجة أشكال وتصاميم مختلفة لقلب مفاعل من النوع (MTR).

يحوّل البرنامج المعاملات المختلفة التي أُدخلت (أبعاد هندسية، مواد،...الخ) إلى ملف دخل للكود (MCNP) متضمنًا بطاقات الأوامر الخاصة بحساب التوزّع الفراغيّ للتدفق النترونيّ وتوزع الاستطاعة في قلب المفاعل، وغيرها من الحسابات التي يطلبها المستخدم.



الشكل (2): واجهة المستخدم الرئيسية في البرنامج (MTRMC)

2-2-1- الكود MCNP4C:

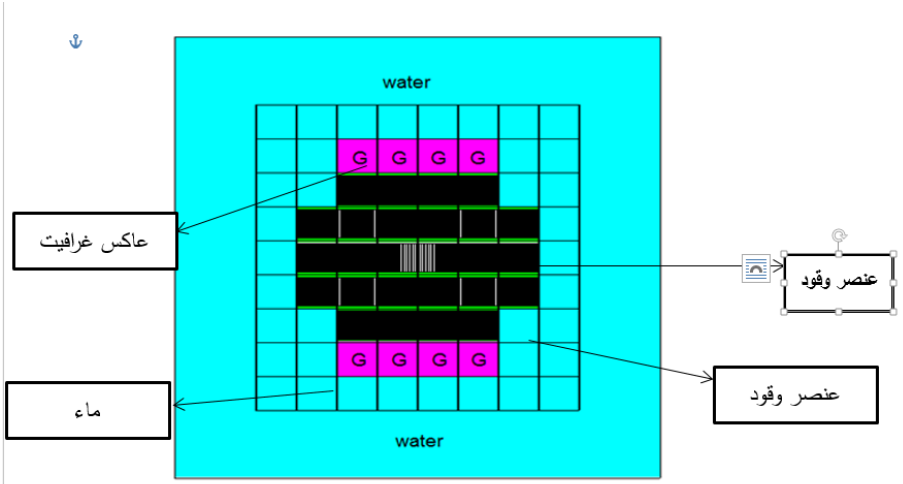
يعد "الكود" (MCNP4C) من أهم إصدارات "كودات" نقل الجسيمات النوويّة والذريّة المبنية على طريقة مونتي كارلو التي بدأ تطويرها في مخابر لوس الأموس منذ الأربعينات من القرن الماضي؛ إذ يعالج "الكود" مسائل النقل النتروني للنيترونات التي لا تتجاوز طاقتها 20MeV، وكذلك الفوتونات أو الإلكترونات التي لا تتجاوز طاقتها 1000MeV، بالإضافة إلى معالجته لمسائل النقل النترونيّ /الفوتونيّ المترابط أو النقل النترونيّ /الفوتونيّ/ الإلكترونيّ المترابط وغيرها؛ إذ يعالج مسائل النقل ثلاثية الأبعاد (إحداثيات ديكارتية) دون اللجوء لأيّ تقريب في فضاء المكان أو الاتجاه أو الطاقة أو الزمان كما هو متبع في طرائق أخرى **[6]**.

ومن أشهر إمكانات "الكود" تقدير معامل التضاعف K_{eff} للمنظومات الحرجة والمفاعلات الانشطارية **[7-8]**، بالإضافة للتطبيقات الهامة في مجالات مختلفة كحسابات التدريع لمختلف المصادر المشعة بما في ذلك المفاعلات النووية، وكذلك

حساب الجرعة في مجالات الطب النوويّ، والتصوير الإشعاعي، والفيزياء الطبية، وتصميم الكواشف النووية، ودفن النفايات المشعة وإنتاج النظائر والمسرعات وغيرها. وقد أجريت حسابات عديدة أثبتت صلاحية "الكود" وصلاحية النموذج المعمول به لهذه الحسابات **[9]**.

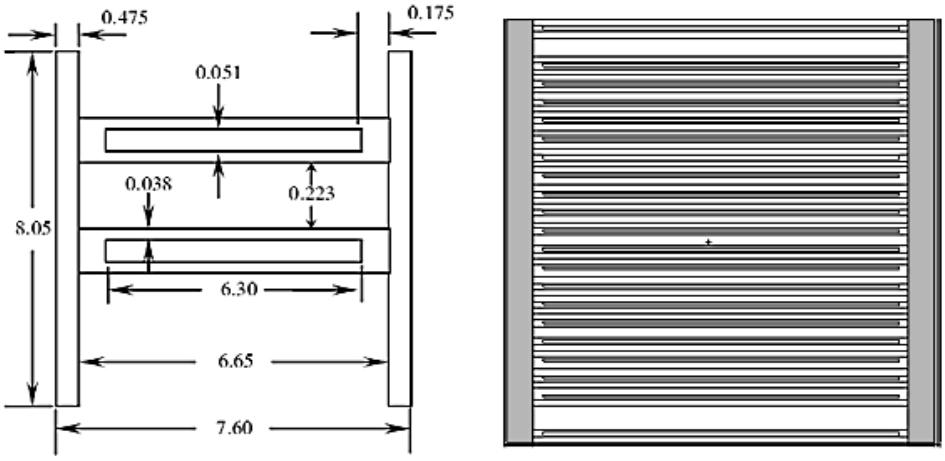
3- توصيف المفاعل MTR-10 MW:

المفاعل MTR-10 **[10]**، هو مفاعل بحثي من نوع البركة باستطاعة 10 ميغا واط، يُستخدم فيه الماء العادي بوصفه مبردًا ومهدئًا، وخليطة الألمنيوم – يورانيوم (U-AL) بوصفه وقودًا بإغناء (93%). يتألف القلب من6X5 موقعًا منها 22 موقعًا لعناصر الوقود وموقع مركزي للمصيدة النترونية (الشكل (3)). يتألف كل عنصر وقود من 23 صفيحة وقود، ويجمع حزمة الوقود عارضتان من الألمنيوم بسماكة 0.475 سم. يكون التحكم بالمفاعل بواسطة 4 عناصر وقود تحكمية؛ يتألف كل منها من 17 صفيحة وقود و4 صفائح من الألمنيوم تتوضّع في الموقع الأول والثالث والحادي والعشرين والثالث والعشرين؛ إذ يتوضّع قضيب التحكم (مادة ماصة للنترونات مثل خليطة الفضة والألمنيوم والكادميوم) بين صفيحتي الألمنيوم (الشكل (4)). يتوضّع عاكس من الغرافيت على جانبي منطقة الوقود التي تكون بدورها محاطة بالماء من باقي الجهات. يبين الجدول (1) مواصفات عنصر الوقود وأبعاده.



الشكل (3): مقطع عرضي لقلب المفاعل (MTR-10) باستخدام ميزة الرسم في "الكود" (MCNP5C).

لشكل (3): مقطع عرضي لقلب المفاعل (MTR-10) باستخدام ميزة الرسم في "الكود" (MCNP5C)



الشكل (4): مقطع عرضي في عنصر الوقود التحكمي في المفاعل MTR-10 [10]

الجدول (1) مواصفات وأبعاد عنصر الوقود في المفاعل MTR-10 [10]

عدد صفائح الوقود في كل عنصر وقود	23
عدد صفائح الوقود في عنصر الوقود التحكميّ	17
الارتفاع الفعّال	60.00 cm
المقطع العرضيّ لعنصر الوقود	7.60 x 8.05 cm^2
سماكة صفيحة الوقود مع الغلاف	0.127 cm
سماكة صفيحة الوقود دون الغلاف	0.051 cm
عرض صفيحة الوقود	6.30 cm
سماكة العارضة الجانبية	0.475 cm
سماكة الماء بين صفائح الوقود	0.223 cm
الوقود	U-AL
الإغناء	93%
الكثافة	3.075 gr/cm^3
وزن اليورانيوم 235 في كل عنصر وقود	280 gr

4- الحسابات والنتائج:

4-1- التصميم الترموهيدروليكي للمفاعل (MTR-10 MW):

يتضمن التصميم الترموهيدروليكي للمفاعل (MTR-10MW) مرحلتين:

- **المرحلة الأولى:** تتضمن استخدام البرنامج (MTRMC) في دراسة توزع الاستطاعة لحزم الوقود المختلفة في قلب المفاعل ومن ثم إيجاد معامل الاستطاعة الطولي والعرضي في المفاعل وتصدير هذه النتائج الى البرنامج (MTRTHA).
- **المرحلة الثانية:** تتضمن استخدام البرنامج (MTRTHA) في دراسة توزع الكثافة الطاقية وتوزع درجات الحرارة لكل من الوقود والغلاف والمبرد لمختلف حزم الوقود في قلب المفاعل، كما يتضمّن حساب السرعة، والسرعة الحرجة للمبرد في قناة

التبريد والتدفق الحراريّ الوسطيّ والتدفق الحراريّ، الذي يبدأ عنده الغليان الفقاعي وهبوط الضغط عبر قلب المفاعل

4-1-1. المرحلة الأولى:

1- توزّع الاستطاعة لحزم الوقود المختلفة في قلب المفاعل:

استخدم البرنامج (MTRMC) في دراسة توزّع الاستطاعة لحزم الوقود المختلفة في قلب المفاعل، وجاءت النتائج كما هو موضّح في الشكل (5) مقدرة بوحدة (MW).

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.371	0.386	0.379	0.365	0	0
0	0.355	0.323	0.512	0.507	0.318	0.355	0
0	0.341	0.437	0.318	0.318	0.434	0.343	0
0	0.363	0.329	0.52	0.511	0.321	0.353	0
0	0	0.376	0.39	0.391	0.377	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

الشكل (5): توزع الاستطاعة لحزم الوقود المختلفة في قلب المفاعل (MTR-10)

2-حساب معامل الاستطاعة الطولي والقطري لحزم الوقود المختلفة:

استخدم البرنامج (MTRMC) في حساب معامل الاستطاعة القطريّ لقلب المفاعل؛ إذ تبلغ القيمة (1.35) وقد حُسِبت بأخذ نسبة قيمة استطاعة حزمة الوقود الأعظمية إلى القيمة الوسطية لاستطاعة حزم الوقود الكلية، ولحساب معامل الاستطاعة الطولي لحزم الوقود المختلفة جزّئت كل حزمة الوقود إلى عدد من الأجزاء، وحسبت استطاعة كل

جزء، ومن ثم أخذت نسبة الجزء ذي الاستطاعة الأعظمية إلى متوسط الاستطاعة لجميع الأجزاء في الحزمة، بعد ذلك يقوم البرنامج بترتيب نتائج حساب معامل الاستطاعة المحوري لحزم الوقود المختلفة وفق مصفوفة المفاعل (انظر الشكل(6)).

NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	1.247	1.268	1.26	1.251	NaN	NaN
NaN	1.238	0	1.259	1.243	0	1.262	NaN
NaN	1.254	1.291	0	0	1.285	1.278	NaN
NaN	1.263	0	1.257	1.251	0	1.282	NaN
NaN	NaN	1.223	1.225	1.237	1.245	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

الشكل (6): معامل الاستطاعة الطوليّ لحزم الوقود المختلفة في قلب المفاعل (MTR-10).

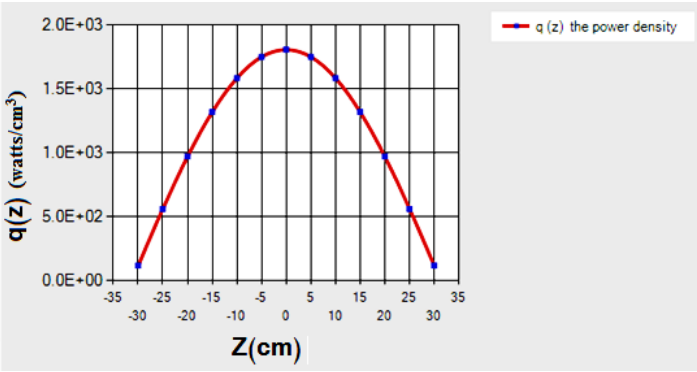
4-1-2. المرحلة الثانية:

في هذه المرحلة استُخدم البرنامج (MTRTHA) في إجراء الحسابات الترموهيدروليكية لقلب المفاعل؛ إذ يبين الجدول (2) البارامترات المستخدمة في الحسابات الترموهيدروليكية مع التنويه أن الخصائص الفيزيائية للماء أُخذت عند درجة حرارة $48^{O}C$ [10] .

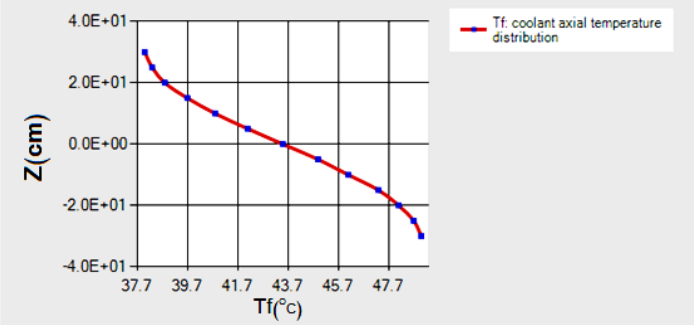
الجدول (2) البارامترات المستخدمة في الحسابات الترموهيدروليكية للمفاعل (MTR-10).

T_{in} (C)	38.0	t_{ci} (cm)	0.0381
Total flow rate (m^3/h)	3500	t_{co} (cm)	0.0495
Cp (kJ/Kg.K)	4.178	H_{co} (cm)	60.0
K	0.5	k (W/m.K)	0.647
fuel elements plates number	23	Kc	0.180
Channel thickness (cm)	0.293	Km	0.5
Channel width (cm)	7	μ (Pascal-Sec)	5.551×10^{-4}
Fuel width	6.3	p (kg/m^3)	998.04

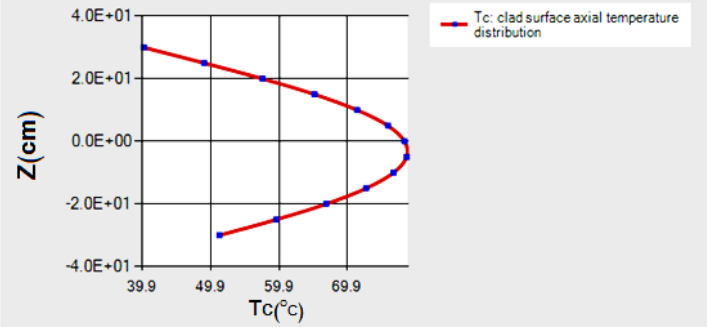
– استخدم البرنامج (MTRTHA) في حساب الكثافة الطاقية للوقود من أجل قناة حارة (انظر الشكل (7))؛ إذ يمكننا ملاحظة الشكل الجيبي لتوزع إطلاق الطاقة على طول صفيحة الوقود. اعتُمد معدل تدفق للمبرد في قلب المفاعل مساوٍ لـ(m^3/h 3500) في حساب توزّع درجات الحرارة للمبرد على طول قناة التبريد (انظر الشكل (8))، وحساب توزّع درجات الحرارة لغلاف الوقود (انظر الشكل (9))، وتوزّع درجات الحرارة للوقود (انظر الشكل (10)).



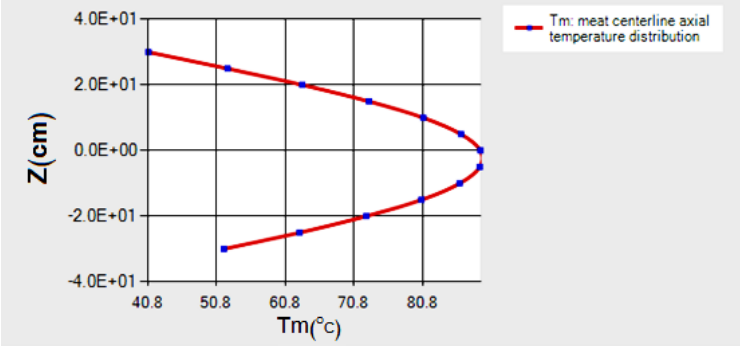
الشكل (7): توزّع الكثافة الطاقية لحزمة الوقود في قلب المفاعل MTR-10.



الشكل (8): توزع درجات الحرارة للمبرد.



الشكل (9): توزع درجات الحرارة لغلاف الوقود.



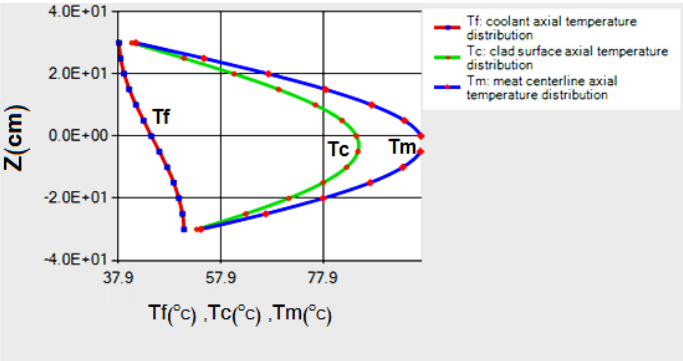
الشكل (10): توزع درجات الحرارة للوقود.

- بلغت سرعة المبرد في قناة التبريد القيمة (8.3) m/s، في حين بلغت السرعة الحرجة للمبرد القيمة (10.938) m/s، بلغ التدفق الحراري الوسطي القيمة (21.36) W/cm^2،

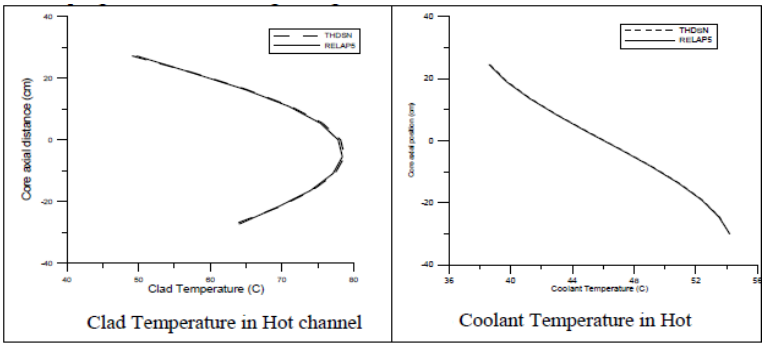
في حين بلغ التدفق الحراري الذي يبدأ عنده الغليان الفقاعي القيمة W/cm^2 (44)، أما هبوط الضغط عبر قلب المفاعل فبلغ القيمة bar (0.194).

5- مقارنة النتائج مع المنشورات العالمية:

يظهر الشكل (11) توزع درجات الحرارة لكل من الوقود والغلاف والمبرد باستخدام البرنامج (MTRTHA)، في حين يظهر الشكل (12) توزع درجات الحرارة باستخدام "الكود" **THDSN[11]**، يمكننا من خلال الشكلين (11) و(12) والجدول (3) ملاحظة التوافق الجيد بين نتائج الكودين، وبالتالي اعتماد النتائج التي نحصل عليها باستخدام البرنامج (MTRTHA).



الشكل (11): توزع درجات الحرارة باستخدام البرنامج (MTRMC).



الشكل (12): توزع درجات الحرارة باستخدام الكود (THDSN) [10].

الجدول (3) مقارنة نتائج الحسابات الترموهيدروليكية للمفاعل (MTR-10 MW) مع المنشورات العالمية.

`Reactor	MTR-10 MW		
Parameter	MTRMC	[11]	[10]
Pressure drop across channel (bar)	0.194	0.199	0.193
Average heat flux (W/cm^2)	21.36	21.54	20.54
Average heat flux at ONB (W/cm^2)	44	41.97	35.9
Critical velocity (m/s)	10.938	10.94	~11
Peak coolant temperature ℃	50	53	.....
Peak clad surface temperature ℃	80	80	.....

الخلاصة:

تم في هذا البحث إجراء الحسابات الترموهيدروليكية لمفاعل البحث المرجعي IAEA MTR 10 MW باستخدام البرنامج (MTRTHA)؛ إذ أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها توافقًا جيدًا مع تلك المنشورة عالميًا، وبالتالي موثوقية عالية للنتائج التي يمكن الحصول عليها باستخدام البرنامج (MTRTHA). يمكن العمل على تطوير البرنامج ليشمل حسابات هوامش الأمان للمفاعل ودراسة الحوادث النووية المحتملة الحدوث في المفاعل بحيث يعد خطوة باتجاه أمثلة التصميم وفق منظور المستثمر للوصول إلى استطاعات أعلى وتدفقات نترونية أعلى مع الحفاظ على هوامش أمان عالية ما يسمح بطيف أكبر من التطبيقات.

References:

[1] http://www.world-nuclear.org/info/Non-Power-Nuclear- *Applications/ Research-Reactors*

[2] ALSALEH H., ACHKAR B and ALBARHOUM M., 2017 − Development of a program to optimize the Thermal Hydraulic design of the MTR-research reactor , *Damascus University.*

[3] ALSALEH H., ACHKAR B and ALBARHOUM M., 2015 − Development of a program to optimize the neutronic design of the MTR-research reactor, *Damascus University.*

[4] ALSALEH H., ACHKAR B and ALBARHOUM M., 2015-A neutronic study for 4 irradiation sites proposed to be in a 40 MW MTR research reactor using the MCNP Code, *Damascus University Journal for Basic Sciences, Damascus*.

[5] ACHKAR B., 2016 - Neutronic Study for the Conversion Process of the IAEA MTR 10 MW from the Highly Enriched Uranium (HEU) to the Low Enriched Uranium (LEU) , *Damascus University Journal for Basic Sciences, Damascus*.

[6] MCNP4C2., 2008− RSICC Computer Code Collection MCNP4C2, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge Tennessee 37831-6362.

[7] SHAABAN I., ALBARHOUM M., 2015 − Minimizing MTR reactor uranium load with the use of MOX fuel by employing ORIGEN-S and MCNP4C codes, *Annals of Nuclear Energy* (83), 34-40.

[8] ALBARHOUM M., 2015 - Calculation of the effect of boron as impurity on the reactivity of the Miniature Neutron Source Reactors using the MCNP code, *Progress in Nuclear Energy* (81), 91-97.

[9] ALBARHOUM M., 2015 - Calculation of the effects of Eu as impurity on the reactivity of the Miniature Neutron Source Reactors using the MCNP code.*Annals of Nuclear Energy* (79), 27-30.

[10] IAEA Technical Document (IAEA TECDOC-233), 1980 −Research Reactor Core Conversion from the Use of Highly Enriched

Uranium to the Use of Low Enriched Uranium Fuels", IAEA-TECDOC-233, International Atomic Energy Agency, *Vienna, Austria*.

[11] Khedr A, 2015, -Thermal Hydraulic Fortran Program for Steady State Calculations of Plate Type Fuel Research Reactors", NCNSRC, Atomic Energy Authority- *Cairo, Egypt*